Тема 1.3. Загальна характеристика обміну речовин. Способи живлення мікроорганізмів

Дисципліна: «Сільськогосподарська мікробіологія»

Спеціальність: «Агрономія»

Мета лекції

Пояснити, з яких речовин складаються клітини мікроорганізмів, звідки вони отримують вуглець, азот та інші необхідні елементи, як класифікують способи їхнього живлення та як клітини одержують енергію.

План

1. Найважливіші сполуки клітин.
2. Джерела вуглецю, азоту та інших елементів для мікроорганізмів.
3. Типи живлення. Автотрофне і гетеротрофне живлення.
4. Загальна характеристика анаболізму та катаболізму.
5. Принципові схеми енергетичних процесів.
6. Аеробне дихання, анаеробне дихання і бродіння.
7. Приклади мікроорганізмів.

Метаболізм, або обмін речовин, — це сукупність усіх хімічних реакцій, які відбуваються в клітині. Вони забезпечують її енергією, будівельними речовинами, ростом і розмноженням.

Обмін речовин охоплює два взаємопов’язані напрями:

- **катаболізм** — розщеплення складних сполук до простіших із вивільненням енергії;
- **анаболізм** — синтез складних клітинних сполук із простіших, що потребує енергії.

Метаболічні можливості мікроорганізмів надзвичайно різноманітні: одні використовують органічні речовини, інші — неорганічні сполуки, а деякі здатні одержувати енергію зі світла. Саме тому мікроорганізми беруть участь у кругообігу вуглецю, азоту, сірки та інших елементів у ґрунті.

1. Найважливіші сполуки клітин

У клітині є **неорганічні** та **органічні** сполуки.

Неорганічні сполуки

Вода — головний компонент клітини. Вона є середовищем для біохімічних реакцій, бере участь у хімічних перетвореннях і забезпечує розчинення та переміщення речовин.

Мінеральні солі й іони потрібні для підтримання кислотно-лужної рівноваги, роботи ферментів, транспорту речовин і побудови клітинних структур. Приклади: фосфати, сульфати, іони калію, магнію, кальцію та заліза.

Органічні сполуки

Група сполук	Основне значення	Приклади
Білки	Ферменти, структурні елементи, транспорт речовин	ферменти, білки мембран
Нуклеїнові кислоти	Зберігання й реалізація спадкової інформації	ДНК, РНК
Вуглеводи	Джерело енергії та матеріал для синтезу клітинних компонентів	глюкоза, глікоген, полісахариди
Ліпіди	Компоненти мембран, запасні речовини	фосфоліпіди, жири
Низькомолекулярні сполуки	Проміжні продукти обміну, попередники біосинтезу	амінокислоти, органічні кислоти, нуклеотиди
АТФ та інші нуклеотиди	Перенесення енергії та участь у реакціях	АТФ, $НАД^+$/НАДН, $НАДФ^+$/НАДФН

Особливу роль відіграють **ферменти** — білкові каталізатори, які прискорюють реакції. Багато метаболічних процесів відбувається не як одна реакція, а як послідовність реакцій — **метаболічний шлях**.

2. Джерела вуглецю, азоту та інших елементів

Щоб рости, клітині потрібні джерела енергії, вуглецю, електронів і поживних елементів. Різні мікроорганізми можуть отримувати їх із різних речовин.

Вуглець

Вуглець потрібен для синтезу органічних сполук клітини.

- **Автотрофи** використовують неорганічний вуглець, насамперед вуглекислий газ — CO_2.
- **Гетеротрофи** використовують готові органічні сполуки: цукри, органічні кислоти, спирти, амінокислоти та продукти розкладання рослинних решток.

У ґрунті органічна речовина — важливе джерело вуглецю для бактерій і грибів-деструкторів.

Азот

Азот входить до складу амінокислот, білків, нуклеїнових кислот та інших клітинних компонентів.

Мікроорганізми можуть засвоювати його з:

- амонію — NH_4^+;
- нітратів — NO_3^-;
- нітритів — NO_2^-;
- амінокислот та інших органічних сполук;
- молекулярного азоту атмосфери — N_2, якщо мають здатність до азотфіксації.

Азотфіксація — перетворення атмосферного N_2 на форми, з яких клітина може синтезувати азотовмісні органічні речовини. Її здійснюють, зокрема, бульбочкові бактерії роду *Rhizobium* у симбіозі з бобовими рослинами та вільноживучі бактерії *Azotobacter*.

Інші елементи

Елемент	Роль у клітині	Приклади джерел
Фосфор (P)	Нуклеїнові кислоти, АТФ, фосфоліпіди	фосфати
Сірка (S)	Деякі амінокислоти й кофактори	сульфати, сульфіди, органічні сполуки сірки
Калій (K)	Осмотичний баланс, активність ферментів	солі калію
Магній (Mg)	Робота ферментів, стабілізація рибосом	солі магнію
Залізо (Fe)	Перенесення електронів, робота деяких ферментів	Fe^{2+}, Fe^{3+}, мінеральні сполуки
Мікроелементи	Кофактори ферментів	сполуки марганцю, цинку, міді, молібдену, кобальту

Молібден, наприклад, необхідний для роботи нітрогенази — ферменту, який забезпечує азотфіксацію. Потреба в окремих елементах залежить від виду мікроорганізму та умов середовища.

3. Типи живлення

Тип живлення описують за джерелом **вуглецю**, **енергії** та **електронів**. Тому одного поділу на автотрофів і гетеротрофів недостатньо для повної характеристики мікроорганізму.

Автотрофне живлення

Автотрофи використовують CO_2 як основне джерело вуглецю й синтезують із нього органічні сполуки.

За джерелом енергії розрізняють:

- **фототрофів** — використовують енергію світла;
- **хемотрофів** — отримують енергію внаслідок хімічних реакцій.

Деякі ґрунтові хемолітотрофні мікроорганізми отримують енергію, окиснюючи неорганічні речовини. Наприклад, нітрифікувальні мікроорганізми окиснюють сполуки амонію та нітриту. Їхня роль у сільському господарстві полягає в перетворенні форм азоту в ґрунті; надмірна нітрифікація за певних умов може сприяти втратам азоту через вимивання нітратів.

Гетеротрофне живлення

Гетеротрофи використовують готові органічні сполуки як джерело вуглецю. Багато бактерій і грибів ґрунту є гетеротрофами: вони розкладають рештки рослин, кореневі виділення та інші органічні речовини.

Гетеротроф може отримувати енергію з тієї самої органічної сполуки, яку використовує як джерело вуглецю, або з іншого субстрату.

Комбінована характеристика

Тип за джерелом	Що означає	Приклад
Автотроф	Вуглець із CO_2	деякі нітрифікувальні бактерії
Гетеротроф	Вуглець з органічних речовин	*Bacillus*, багато ґрунтових грибів
Фототроф	Енергія зі світла	ціанобактерії
Хемотроф	Енергія з хімічних реакцій	нітрифікувальні бактерії
Літотроф	Електрони від неорганічних донорів	бактерії, що окиснюють амоній або сірководень
Органотроф	Електрони від органічних сполук	багато ґрунтових гетеротрофів

Назви можуть комбінуватися. Наприклад, **хемолітотрофний автотроф** отримує енергію з хімічного окиснення неорганічного донора електронів, а вуглець — із CO_2.

4. Загальна характеристика анаболізму та катаболізму

Катаболізм

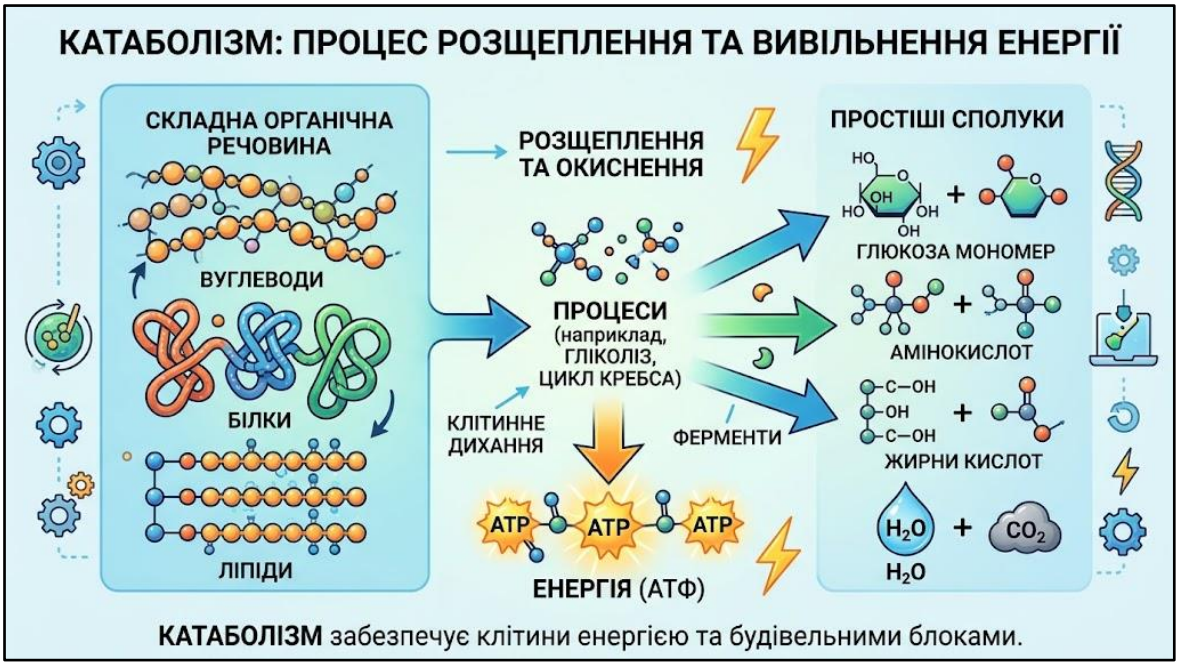
Катаболізм — сукупність реакцій розщеплення складних сполук. Він забезпечує клітину:

- енергією, яка може запасатися в АТФ;
- відновленими переносниками електронів, наприклад НАДН;
- простішими проміжними сполуками для подальшого синтезу.

У спрощеному вигляді:

складна органічна речовина → простіші сполуки + енергія

Наприклад, під час розщеплення глюкози утворюються проміжні продукти, а клітина одержує АТФ і відновлені переносники електронів.



Анаболізм

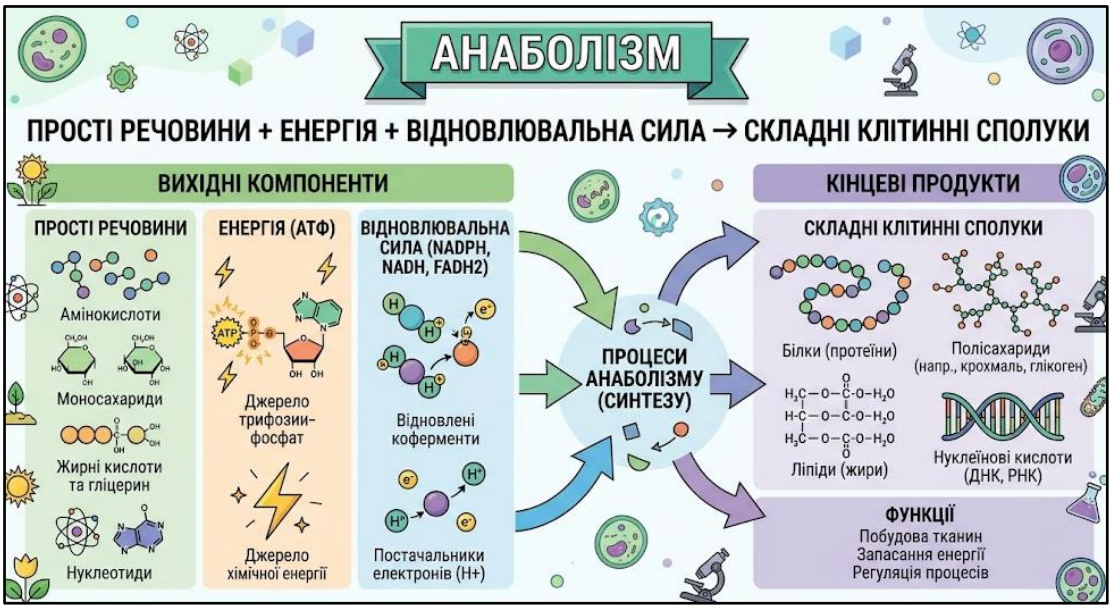
Анаболізм — синтез складних молекул із простіших. Він забезпечує утворення:

- білків із амінокислот;
- нуклеїнових кислот із нуклеотидів;
- мембранних ліпідів;
- запасних речовин і компонентів клітинної стінки.

У спрощеному вигляді:

прості речовини + енергія + відновлювальна сила → складні клітинні сполуки

Для біосинтезу клітина використовує АТФ і відновлені переносники, зокрема НАДФН. Анаболізм і катаболізм взаємопов'язані: катаболічні реакції постачають енергію та проміжні сполуки для анаболізму.



5. Принципові схеми енергетичних процесів

Енергія переходить між формами, а клітина використовує її для біосинтезу, транспорту речовин і руху. Центральним переносником енергії є **АТФ**.

Субстратне фосфорилювання

Фосфатна група безпосередньо переноситься з високоенергетичного проміжного продукту на АДФ:

субстрат із фосфатною групою + АДФ → продукт + АТФ

Так утворюється АТФ, наприклад, під час гліколізу.

Окисне фосфорилювання

Електрони проходять через ланцюг перенесення електронів у мембрані. Це створює різницю концентрації протонів по обидва боки мембрани. Повернення протонів через АТФ-синтазу забезпечує синтез АТФ:

донор електронів → ланцюг перенесення електронів → кінцевий акцептор електронів
градієнт протонів → АТФ-синтаза → АТФ

У бактерій ланцюг перенесення електронів розташований у цитоплазматичній мембрані, а не в мітохондріях.

Фотосинтетичне фосфорилювання

Світло збуджує пігменти, і енергія світла використовується для утворення АТФ та відновлених переносників електронів. У фотосинтезувальних мікроорганізмів ці процеси можуть забезпечувати енергією фіксацію CO_2.

6. Аеробне дихання, анаеробне дихання і бродіння

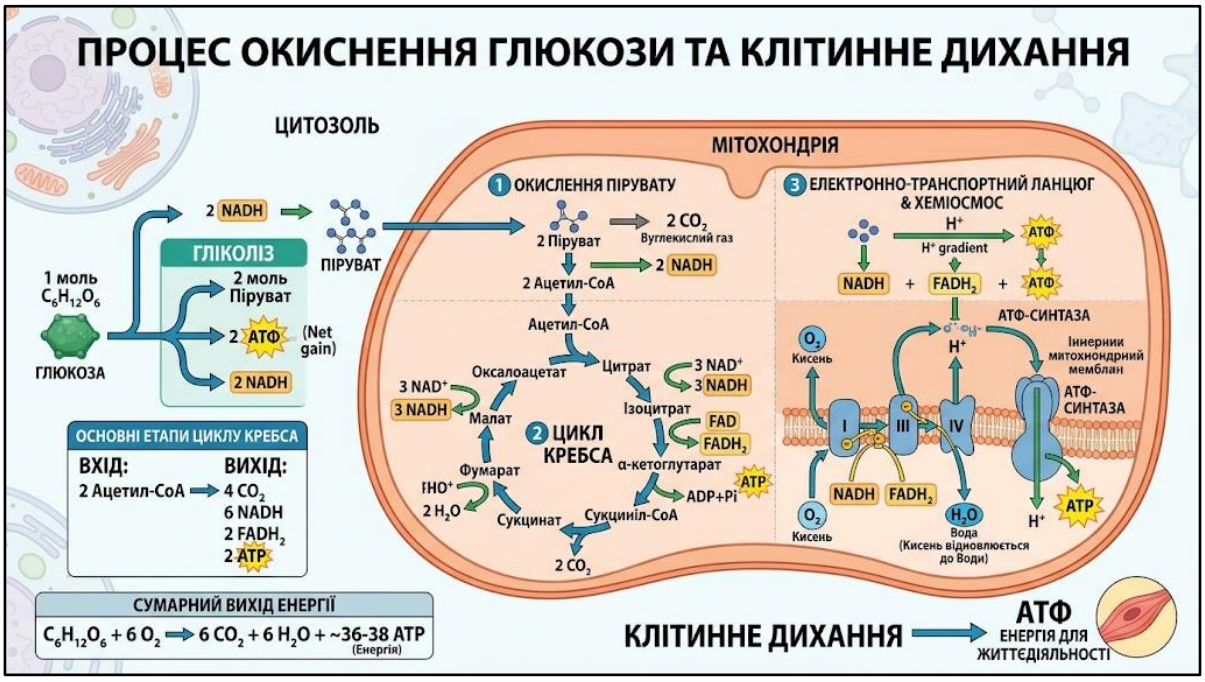
Важливо розрізняти **анаеробне дихання** і **бродіння**. Обидва процеси можуть відбуватися без кисню, але механізми утворення АТФ у них різні.

Аеробне дихання

Під час аеробного дихання кисень є кінцевим акцептором електронів. Органічний субстрат окиснюється, електрони проходять через мембранний ланцюг перенесення, а значна частина АТФ утворюється за допомогою окисного фосфорилювання.

Спрощене рівняння повного окиснення глюкози:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + енергія (АТФ)



Багатостадійний процес охоплює гліколіз, подальше окиснення проміжних продуктів і роботу ланцюга перенесення електронів. Реальний вихід АТФ залежить від організму та умов; у лекційній схемі важливо підкреслити, що зазвичай аеробне дихання дає більше АТФ із молекули субстрату, ніж бродіння.

Анаеробне дихання

Під час анаеробного дихання кисень не є кінцевим акцептором електронів. Його роль виконує інша сполука, наприклад нітрат або сульфат. Як і в аеробному диханні, використовується ланцюг перенесення електронів, а АТФ утворюється переважно шляхом окисного фосфорилювання.

У ґрунті анаеробне дихання стає особливо важливим у перезволожених і погано аерованих ділянках, де кисню мало. Наприклад, денітрифікувальні

бактерії можуть використовувати нітрат як акцептор електронів, унаслідок чого азот частково втрачається з ґрунту у формі газоподібних сполук.

Бродіння

Бродіння — шлях одержання енергії, за якого:

- не використовується ланцюг перенесення електронів для дихання;
- органічна молекула є кінцевим акцептором електронів;
- АТФ утворюється переважно шляхом субстратного фосфорилювання;
- відновлюється $НАД^+$, необхідний для продовження гліколізу.

Для бродіння глюкози характерний невеликий вихід АТФ — зазвичай **2 молекули АТФ на молекулу глюкози** на стадії гліколізу.

Приклади:

- **молочнокисле бродіння:** глюкоза → молочна кислота (лактат); характерне для молочнокислих бактерій, зокрема *Lactobacillus*;
- **спиртове бродіння:** глюкоза → етанол + CO_2; характерне для дріжджів, наприклад *Saccharomyces cerevisiae*;



- інші типи бродіння можуть утворювати суміші органічних кислот, спиртів, газів та інших продуктів.

Порівняння енергетичних процесів

Ознака	Аеробне дихання	Анаеробне дихання	Бродіння
Кисень	Є кінцевим акцептором електронів	Не є кінцевим акцептором	Не потрібен
Кінцевий акцептор електронів	O_2	Неорганічна сполука, наприклад NO_3^- або SO_4^{2-}	Органічна сполука, часто похідна пірувату
Ланцюг перенесення електронів	Є	Є	Не бере участі
Основний спосіб утворення АТФ	Окисне фосфорилювання	Окисне фосфорилювання	Субстратне фосфорилювання
Типові продукти	CO_2 і H_2O при повному окисненні органічного субстрату	Залежать від акцептора та мікроорганізму	Органічні кислоти, спирти, гази

7. Приклади мікроорганізмів

Мікроорганізм або група	Тип живлення чи процес	Значення для ґрунту й агрономії
Rhizobium	Гетеротрофне живлення; симбіотична азотфіксація	Формує бульбочки на коренях бобових і бере участь у фіксації атмосферного азоту
Azotobacter	Вільноживуча азотфіксація	Перетворює атмосферний N_2 у біологічно доступні форми
Nitrosomonas та споріднені бактерії	Окиснення амонію	Перший етап нітрифікації
Nitrobacter та споріднені бактерії	Окиснення нітриту	Утворення нітрату під час нітрифікації
Pseudomonas	Деякі види — денітрифікація; часто факультативні анаероби	За нестачі кисню окремі види можуть використовувати нітрати під час дихання
Bacillus	Переважно гетеротрофне розщеплення органічних речовин	Участь у розкладанні органічних субстратів; види відрізняються за метаболічними можливостями
Молочнокислі бактерії, зокрема *Lactobacillus*	Молочнокисле бродіння	Утворюють молочну кислоту під час бродіння доступних цукрів
Saccharomyces cerevisiae	Спиртове бродіння	Перетворює цукри на етанол і CO_2

Деякі назви в таблиці позначають роди, що містять багато видів. Метаболічні властивості можуть відрізнятися між видами й навіть штамами, тому приклади показують типові можливості, а не універсальну властивість кожного представника роду.

Значення для агрономії

Обмін речовин мікроорганізмів безпосередньо впливає на родючість ґрунту та живлення рослин:

1. **Розкладання рослинних решток** повертає до ґрунту мінеральні елементи.
2. **Азотфіксація** поповнює запаси біологічно доступного азоту.
3. **Нітрифікація** перетворює амоній на нітрат; нітрат може засвоюватися рослинами, але також вимиватися.
4. **Денітрифікація** за нестачі кисню може спричиняти втрати азоту з ґрунту.
5. **Бродіння** та інші анаеробні процеси активізуються в перезволоженому або ущільненому ґрунті, де обмежене надходження кисню.

Отже, агрономічне значення мікроорганізмів залежить не лише від їхньої присутності, а й від доступу до кисню, вологи, органічного субстрату та мінеральних елементів.

Основні висновки

- Метаболізм складається з катаболічних реакцій, що забезпечують клітину енергією та проміжними сполуками, і анаболічних реакцій, що синтезують клітинні компоненти.
- За джерелом вуглецю мікроорганізми поділяють на автотрофів і гетеротрофів; за джерелом енергії — на фототрофів і хемотрофів.
- АТФ є основним переносником енергії в клітині.
- Аеробне й анаеробне дихання використовують ланцюг перенесення електронів; у бродінні такого ланцюга немає.
- Мікробні процеси живлення й енергетичного обміну визначають перетворення поживних речовин у ґрунті та їх доступність для рослин.

Запитання для самоконтролю

1. Чим відрізняються катаболізм і анаболізм?
2. Які сполуки можуть бути джерелом вуглецю для автотрофів і гетеротрофів?
3. Чим фототрофи відрізняються від хемотрофів?
4. Які умови й кінцеві акцептори електронів характерні для аеробного та анаеробного дихання?
5. Чому бродіння не слід ототожнювати з анаеробним диханням?
6. Яке значення мають азотфіксація, нітрифікація та денітрифікація для агрономії?